

цифровых фотографий и работающим с гигантскими архивами изображений, так и простым пользователям компьютера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ImageDupelessTutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imagedupeless.com/ru/about.html> (дата обращения 15.04.20).
2. Учебное пособие по курсу «Компьютерная обработка изображений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://aco.ifmo.ru/el\\_books/image\\_processing/3\\_04.html](http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/3_04.html) (дата обращения 5.03.20).
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЛИПСА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО ДАННЫМ С МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ДАТЧИКА

Ю.В. Шульгина, О.Ю. Терентьева, Е.М. Шульгин, М.А. Костина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: shulgina@tpu.ru

## APPLICATION OF ELLIPSE PROPERTIES WHEN CONSTRUCTING AN OBJECT IMAGE BASED ON DATA FROM A MULTI-ELEMENT SENSOR

Yu. V. Shulgina, O. Yu. Terentyeva, E. M. Shulgin, M. A. Kostina

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** *The article presents a method based on the ellipse phenomenon that makes it possible to reduce the amount of data transmitted from the data receiving and preprocessing unit to a personal computer, as well as the amount of digitized information and the time of its processing. The developed data processing algorithm for a system with a multi-element sensor was tested in MatLab software package. The block diagram and data processing algorithm for the practical implementation of FPGA have been developed. The amount of digitized information has been reduced by more than 10 times.*

В настоящее время ультразвуковой неразрушающий контроль вышел на новый этап развития. Возможность получения трехмерного изображения объекта контроля с высокой скоростью сканирования в режиме реального времени появляется благодаря использованию многоэлементных датчиков [1]. В последнее время метод *sampling phased array* (SPA), разработанный в *Fraunhofer Institute of nondestructive testing* (Germany), активно используется для зондирования и построения изображения объекта контроля. Суть этого метода заключается в поочередном возбуждении элементов, входящих в состав датчика, и параллельном приеме сигналов всеми элементами. Полученные ультразвуковые сигналы сохраняются для каждого элемента и служат исходными данными для 2D и 3D визуализации объекта контроля. Таким образом, даже после одного цикла передачи и приема могут быть реализованы все углы распространения ультразвуковых сигналов на всю глубину зондирования, что позволит воспроизвести изображение среза исследуемого объекта. Поскольку фокусировка ультразвукового луча осуществляется не физически, а при обработке принятых данных, то большая скорость сканирования может быть достигнута [2–5].

Сложность разработки устройств, содержащих многоэлементные датчики, состоит в необходимости передачи и обработки большого объема данных, поэтому сокращение объема записываемой и передаваемой информации является актуальной задачей. С увеличением количества элементов антенной решетки возрастает сложность системы и количество передаваемой по каналу информации. Реализация преобразования аналогового сигнала с акустического датчика в цифровую последовательность с различным шагом дискретизации позволяет существенно сократить количество

передаваемой информации на персональный компьютер или устройство отображения, а также сократить время обработки данных.

Сканируемая область объекта контроля, находящаяся под решеткой, определяется расстоянием между соседними излучающими элементами, диаграммой направленности решетки и частотой ультразвукового сигнала.

Записанные амплитуды сигнала в дискретные моменты времени (А-сканы) для всех комбинаций источник/приемник используются при построении изображения. По рассчитанному времени распространения сигнала до текущей расчетной точки объекта контроля производится выборка требуемых амплитуд из каждого А-скана. Сумма амплитуд для точки из всех А-сканов и интерпретируется как ее изображение.

Задавать расчетную точку объекта контроля удобнее по ее координатам на плоскости  $N_{(x,y)}$ . Для обработки одного из записанных А-сканов с номером излучателя  $N_e$  и номером приемника  $N_r$  рассчитывается время распространения ультразвука от излучателя до приемника через расчетную точку.

$$t_{N(x,y)\Sigma} = t_{ERN(x,y)} + t_{REN(x,y)}$$

где  $t_{ERN(x,y)}$  – время распространения ультразвука от излучателя до точки  $j$ ;  $t_{REN(x,y)}$  – время распространения ультразвука от точки  $j$  до приемника.

Для формирования томографического изображения объекта контроля необходимо большое время постобработки, связанное с большим количеством определений дистанций приемов и передач пьезопреобразователями через каждую точку цифровой фокусировки ультразвукового сигнала. Например, для построения томографического изображения внутренней структуры объекта контроля размером  $100 \times 100$  точек фокусировки ультразвукового сигнала и использовании антенной решетки из 16 пьезопреобразователей необходимо определить 2 560 000 дистанций [6].

Для реализации предлагаемого алгоритма обработки необходимо разделить сканируемую область объекта контроля на отдельные точки сканирования. При этом между соседними датчиками должно помещаться одинаковое количество сканируемых точек.

Суть сокращения временной матрицы заключается в том, что ультразвук распространяется радиально, следовательно, для любой пары источник/приемник будет совокупность точек, находящихся на одинаковых расстояниях. Эти точки будут лежать на эллипсе, как показано на рис. 1. При этом выбранные излучатель и приемник будут находиться в фокусах эллипса. Расстояние между излучателем и приемником будет определять фокальное расстояние. Малая полуось эллипса будет определять глубину зондирования.

Хранить информацию об амплитуде сигнала можно только для точек, которые являются малым радиусом эллипса. При этом можно проводить аналого-цифровое преобразование принятого сигнала только в фиксированные моменты времени, соответствующие расстоянию равному малой оси (рис. 2).

Равноудаленные для заданной комбинации источника и приемника точки лежат на линии эллипса, следовательно, разбив изображение объекта контроля не на точки, а на сектора эллипса, можно делать выборку амплитуд из памяти А-скана только для точек, находящихся на равном расстоянии от центров эллипса.

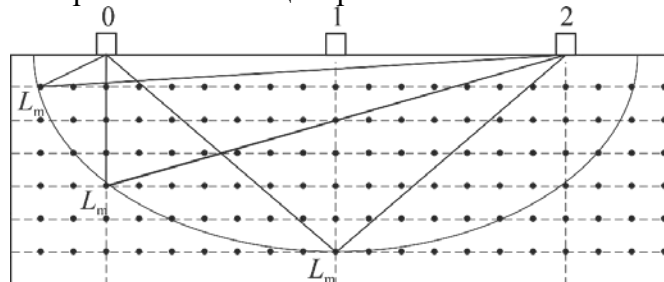


Рис. 1. Определение равноудаленных точек

В результате будем иметь матрицу-столбец, которая уже в блоке обработки изображения будет достраиваться до полной картины объекта контроля.

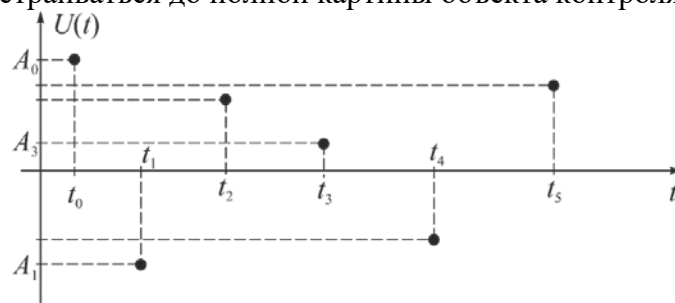


Рис. 2. Дискретизация принятого сигнала

Для системы хранения данных применение свойств эллипса является очень удобным, также снижается кратно нагрузка на передающий канал, однако требуется разработка блока построения изображения, реализующего алгоритм вычисления координат точек, находящихся на линии эллипса.

При применении классического метода для исследуемого объекта для реализации всех углов распространения акустического сигнала для выбранного разрешения требуется запись 7818 точек А-скана, а при применении метода эллипсов – 500. Размер памяти для хранения одного А-скана уменьшится в 15,5 раза.

Количество точек А-скана значительно влияет на время обработки данных. Количество тактов на один цикл работы АЦП при обработке одного А-скана с использованием метода эллипсов уменьшилось в 15,5 раз, следовательно, можно применять АЦП, работающие на меньшей частоте без потери качества изображения.

При этом существенно сокращается информация, которая будет передаваться на систему отображения или персональный компьютер. Нагрузка на информационный канал с реализацией предварительной обработки в программируемой логической матрице уменьшится в  $N^2$  раз, где  $N$  – количество излучателей в датчике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: Справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 4: в 3 кн. Кн. 1: В.А. Анисимов, Б.И. Каторгин, А.Н. Куценко и др. Акустическая тензометрия. Кн. 2: Г.С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. Кн. 3: М.В. Филинов. Капиллярный контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 736 с.
2. Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные, документы, стандарты по УЗК / Составитель В.А. Троицкий. – К.: Феникс, 2006. – 224 с.
3. Li M., Hayward G. Ultrasound nondestructive evaluation (NDE) imaging with transducer arrays and adaptive processing // Sensors. – 2012. – vol.12. – no.1. – P.42–54.
4. Manjula K. and el al. Ultrasonic time of flight diffraction technique for weld defects: A review // Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. – vol.4. – no.24. – P.5525–5533.
5. Hopkins D. and et al. Advanced phased array technologies for ultrasonic inspection of complex composite parts. Available at: [https://www.ndt.net/article/ndtcanada2011/papers/109\\_Hopkins.pdf](https://www.ndt.net/article/ndtcanada2011/papers/109_Hopkins.pdf)
6. Shulgina Yu. V. and et al. Method of processing data of acoustic array // Materials Science Forum Scientific Journal. –2019. –vol. 970. –P. 242–249.